東北タイの塩類集積地帯における表層水と地下水の水質環境

吉 永 育 生* 濱 田 浩 正**

Qualities of Surface Water and Groundwater in Salinated Land in Northeastern Thailand

Ikuko YOSHINAGA* and Hiromasa HAMADA**

* Research Team for Subtropical Farming, National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, 2421 Suya, Koshi City, Kumamoto 861-1192, Japan

** Japan International Research Center for Agricultural Science, 1-1 Ohwashi, Tsukuba City, Ibaraki 305-8686, Japan

Abstract

In this study, we determined the dissolved ion concentrations of surface water and groundwater in areas of salinated land in northeastern Thailand to evaluate irrigational water resources. The concentrations of nutrient and heavy metals were measured at 35 points in July 2006 to investigate their changes in distribution. Seasonal variations were measured at 10 points between July 2006 and July 2007. In area A, which is a hilly groundwater recharging area, the ion concentrations in both ponds and wells were sufficiently low, making water in this area good for irrigation water. In area B, which is a medium-hilly residential area, the ion concentrations in a few wells were high and fluctuated seasonally, so care is required if water in this area is to be used for irrigation. In area C, which is a marshy area with groundwater discharge, the chloride concentrations were so high that the use of water in this area is limited to paddy rice cultivation. Further research on the analysis of changes in the aquatic environment is required, since the number of livestock shows an increasing trend and the lifestyle of people living around the studied areas is changing drastically.

Keywords: salinization, chloride, nitrogen, phosphorus

1. はじめに

タイ国東北部は、年降水量が1,000 mm前後で水資源が乏しい地域である。気候区分は熱帯気候に分類され、雨期と乾期の区別が明瞭である。そのため、11月から4月にかけての乾期の降水量は約200 mmと少なく、5月から10月の間の雨期に約800 mmの降水がある。さらに、雨期の間に持続的な降雨が続くわけではなく、雨期後半の8月、9月に月間降水量が約200 mmに達するなど、間断的な降水となる¹⁾。降水の大部分は、降下浸透して地下水となるため、大きな河川が少なく貯留することが難しい。また、地質は表面から、砂質土、プートック (Phu Tok) 層と呼ばれる砂岩や頁岩の風化した層、マハサラカム (Mahasarakham) 層と呼ばれる砂岩や頁岩の層により主として構成されている。このうち、数十から数百mの深度に存在するマハサラカム層は岩塩層を含むため、その層を通過した地下水が地下の断層を通過して地表に湧出すると塩類集積を生じる²⁾。そのため、農業用水をはじめとした水資源の確保が、以前からの課題であった。

このような地域にて、農業用水を確保するための様々な調査研究が実施されてきた。古くは、1980年代にため池の試験的な築造³⁾があり、小河川から取水してかんがいする

際の問題点の抽出⁴⁾、最近では地下水資源の開発のための流動調査⁵⁾や、ため池の立地条件の分析⁶⁾が実施され、地下水を含めた水資源開発により水の量的確保については大きく改善されている。

その一方で、水質にかかる調査研究は数少ない。地下水のラドン濃度を計測し地下水流動について精査した事例⁷⁾や流域の河川水を対象とした調査事例^{8~10)}があげられるが、地下水やため池の塩分及び栄養塩濃度にかかる報告事例は少ない。そこで、タイ東北のコンケン (Khon Kaen) 県に位置するノンセン (Nong Saeng) 村近傍を対象として、塩分濃度と栄養塩濃度に重点をおいた水質環境現地観測を行った。短期間で広範囲に実施した広域調査と、定点を継続的に観測した長期調査を実施し、面的な水質濃度の変化と、定点における時間的な水質濃度の変化を把握することを目的とした。期間で広範囲に実施した広域調査と、定点を継続的に観測した長期調査を実施し、面的な水質濃度の変化と、定点における時間的な水質濃度の変化を把握することを目的とした。

2. 方 法

タイ国東北部の主要都市の一つであるコンケン (Khon Kaen) 市の南方40 kmに位置するノンセン (Nong Saeng)

* (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター 〒861-1192 熊本県合志市須屋2421

** 国際農林水産業研究センター 〒305-8686 茨城県つくば市大わし1-1

Fig.1 Location and detail of the studied field

村近傍 (16°9'N, 102°49'E) を対象とした。この地域は緩やかな起伏の台地で、表層土壌は砂質土であるため、東北タイにおける典型的な地形・土壌条件である。台地ではサトウキビやキャッサバが栽培され、低平地では5月から10月の雨期に水稲が栽培されている。この地域は、これまでに地下水にかかる調査研究⁷⁾や作物にかかる調査研究^{11,12)}が実施された地域である。対象地域はおおよそ東西に15 km, 南北に10 kmの範囲である (Fig. 1)。対象地域に含まれるノンセン村の人口は1,870人であり、農地面積は1,050 ha, 家畜の全頭数は2,111頭である¹³⁾。

対象地区は地形条件を考慮して、次の3つの地域に分類した。地域の東側の標高190 mから210 mにあり、地下水の涵養域とされている台地のA地域、その下流側に位置し集落も多いB地域、最後に国道の西側に位置し、塩類集積による問題が顕在しており、地域内に湿地等が多く存在する低平なC地域、に分類した。それぞれの地域において、地下水、ため池、表層水の採水調査を実施した。

現地観測は、塩分濃度と栄養塩類濃度の空間的な変化と、定点における季節変化を把握することを目的として、2006年7月上旬に実施した短期間で広範囲に実施した広域調査と、定点を11ヶ月にわたって観測した継続調査の2パターンの調査を実施した。短期間の広域調査では、合計35地点において調査を行った。そのうち、地域を代表していると考えられる10地点を対象として継続調査を実施し、1~2ヶ月に1回の間隔で採水調査を実施した。Table 1に、調査地点の概要を示す。なお、表中に示したため池の水深は2006年7月時の水深であり、ため池の多くは乾期に水位が低下し、1 m程度となることが多い。

採取したサンプルは、直ちに0.2 μmのフィルターで濾過して保管した。サンプルを日本に郵送した後、Cl, NH₄-N, NO₃-Nはイオンクロマトグラフ (DX-320, Dionex) にて、PO₄-Pは紫外可視分光光度計 (UV-mini 1240, 島津製作所) にて、重金属類はICP-MS (ELAN DRC-II, PerkinElmer) にて分析を実施した。ICP-MSの分析は、短期広域調査時には、Fe, Zn, As, Cd, Pbの5項目を対象として、長期の継続調査時にはこれに加えてCr, Mn, Ni, Cuの合計9項目の定量分析とした。いずれの分析時においても、分析結果

が定量範囲内になるように、分析前に希釈を実施した。サンプル採取から分析までの、おおよその時間間隔は10日間であった。

Table 1 Outline of field measuring stations

Area	Sampling Station	Detail
A	G5	Ground water Depth of screen: 28-30 m
	G7 *	Ground water Depth of screen: 3-7 m
	G8 *	Ground water Depth of screen: 26-30 m
	G10	Ground water Depth of screen: 29-30 m
	G11	Ground water Depth of screen: 19-20 m
	G12	Ground water Depth of screen: 25-26 m
	G13	Ground water Depth of screen: 19-20 m
	G14	Ground water Depth of screen: 26-30 m
	P5 *	Pond Water depth: < 1.0 m
	P6 *	Pond Water depth: unknown
	P8	Pond Water depth: < 1.0 m
	P14 *	Pond Water depth: 0.9 m
B	G1 *	Ground water Depth of screen: 20-24 m
	G2	Ground water Depth of screen: 46-50 m
	G4	Ground water Depth of screen: unknown
	G6	Ground water Depth of screen: unknown
	G15	Ground water Depth of screen: 26-30 m
	P1	Pond Water depth: < 1.0 m
	P4	Pond Water depth: < 0.5 m
	P10 *	Pond Water depth: 1.3 m
	P11 *	Pond Water depth: 0.9 m
C	P12	Pond Water depth: 0.7 m
	P13 *	Pond Water depth: 1.4 m
	G3	Ground water Depth of screen: unknown
	G9	Ground water Depth of screen: unknown
	P2	Pond Water depth: unknown
	P3 *	Pond Water depth: unknown
	P7	Pond Water depth: unknown
	P9	Pond Water depth: unknown
	S1	Surface water River
	S2	Surface water River
	S3	Surface water Ponded water in paddy
	S4	Surface water Marsh
	S5	Surface water River
	S6	Surface water River

Asterisk means a continuous sampling station.

Table 2 Observed dissolved ion concentrations and averaged values in A, B & C areas ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)

Sampling station		Na	Mg	Ca	Cl	SO ₄	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Fe	Zn
A	G5	38	23	73	19	2.2	ND	0.3	0.04	0.01	ND
	G7	62	23	100	38	3.3	ND	ND	0.06	0.02	0.05
	G8	26	4.0	28	41	1.0	ND	ND	0.07	ND	0.03
	G10	32	16	100	18	0.8	ND	0.5	0.13	0.29	0.01
	G11	32	13	100	26	0.5	ND	0.2	0.19	0.01	0.01
	G12	41	15	79	13	0.6	ND	0.4	0.16	1.11	0.03
	G13	17	11	57	11	1.0	ND	ND	0.06	0.33	0.05
	G14	45	36	120	53	1.7	ND	0.3	0.02	ND	0.02
	P5	5.6	4.5	11	26	1.4	2.2	ND	0.01	0.02	ND
	P6	19	7.2	7.4	38	0.1	ND	0.5	0.02	0.39	ND
B	P8	19	8.7	25	23	ND	0.5	ND	0.07	0.13	ND
	P14	8.7	3.3	12	7.6	1.3	ND	ND	0.01	0.28	ND
	G1 (1)	45	20	130	49	3.3	ND	3.2	0.76	ND	0.03
	G1 (2)	50	43	260	260	9.2	ND	97	0.13	0.01	0.03
	G1 (3)	56	53	310	360	12	ND	130	0.16	0.01	0.03
	G1 (4)	46	24	160	89	4.0	ND	20	0.48	0.01	0.07
	G1 (5)	53	43	270	270	9.6	ND	100	0.14	0.01	0.03
	G2	89	11	57	15	3.7	ND	1.5	0.02	ND	ND
	G4	71	15	61	6.4	1.9	ND	ND	0.05	ND	ND
	G6	160	23	170	150	66	ND	ND	0.08	ND	6.92
C	G15	28	17	74	8.7	0.4	ND	0.5	0.03	ND	0.01
	P1	8.9	3.3	31	10	0.3	ND	ND	0.03	0.13	ND
	P4	1.3	0.2	0.9	0.6	1.0	ND	0.2	ND	0.56	0.01
	P10	143	8.7	15	80	0.2	ND	ND	0.03	0.03	0.01
	P11	6.7	1.7	3.4	7.8	0.2	ND	ND	0.02	0.59	ND
	P12	21	4.7	9.1	27	ND	ND	ND	0.02	0.85	0.01
	P13	6.6	4.1	15	15	0.8	0.2	ND	0.01	0.11	ND
	G3	120	14	74	75	11	ND	ND	0.08	ND	0.02
	G9	290	18	210	650	20	ND	ND	0.09	0.01	0.01
	P2	1,200	94	560	3,200	130	ND	0.3	0.02	0.14	0.27
D	P3	810	43	170	1,500	130	ND	0.8	0.02	0.03	0.15
	P7	490	59	540	2,100	ND	ND	ND	0.01	0.10	0.28
	P9	1,100	3.7	18	1,200	66	ND	0.1	0.09	0.08	0.17
	S1	22	4.6	19	21	11	ND	ND	0.01	0.02	ND
	S2	15	5.4	18	33	0.4	ND	ND	0.04	0.75	ND
	S3	350	15	98	780	12	ND	ND	0.02	0.25	0.05
	S4	240	8.4	25	330	8.7	ND	ND	0.01	0.01	0.04
	S5	270	13	46	550	3.3	ND	0.6	ND	0.02	0.04
	S6	38	6.5	31	60	16	ND	0.3	0.02	0.04	ND
	E	Ground Water (Average)	36	18	84	27	1.4	ND	0.2	0.09	0.22
Pond (Average)		13	5.9	14	24	0.7	0.7	0.1	0.03	0.21	ND
F	Ground Water (Average)	66	28	170	130	12	ND	40	0.21	0.0	0.79
	Pond (Average)	31	3.8	12	23	0.4	0.0	0.0	0.02	0.38	0.0
G	Ground Water (Average)	210	16	140	360	15	ND	0.0	0.08	0.0	0.02
	Pond (Average)	920	50	320	2,000	81	ND	0.3	0.04	0.07	0.22
	Surface water (Average)	160	8.7	40	300	8.3	ND	0.2	0.02	0.18	0.02

*G1(1): 5Jul, G1(2): 5Jul after 0.06 m³ pumping up, G1(3): 5Jul after 0.12 m³ pumping up, G1(4): 7Jul 1.0-1.5 m depth, G1(5): 20-20.5 m depth

3. 結果と考察

調査結果の分析にあたり、塩類集積に対する観点からはClに重点を置いて、富栄養化に対する観点からはNH₄-N、NO₃-NとPO₄-Pを対象として考察を行う。塩類集積地帯では、陽イオンのNaやCaも高い濃度を示す。ただし、これらは化合物を形成する場合があるため、両者の存在比は一定ではない。これに対し、陰イオンで顕著な濃度上昇が見られるのはClのみであること、また、農業用水として利用する際の指標項目として数多くの研究蓄積があることか

ら、Clに着目して分析を行う。

3.1 短期の広域調査結果

水質分析結果をTable 2に示す。なお、Cr、AsとCdは非常に濃度が低く、Crは全てのサンプルが0.002 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下、Asは0.01 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下、Cdは2006年7月5日のG1(2)が0.018 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ であった他は全て0.003 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下であったことから記載していない。なお、いずれの地点においても重金属類の濃度は低く、水利用に支障を来す濃度ではなかった。

上流域に位置するA地域では、地下水・ため池いずれもイオン濃度が最も低く、Cl濃度の平均値は30 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下

であった。A地域は、台地の上に位置する地下水の涵養域で鉛直下方に水の流れがあり、地下の数十mから数百mの深度に存在する岩塩の影響を受けにくいと、イオン濃度がさほど上昇していないと考えられる。一部のため池で $\text{NH}_4\text{-N}$ が計測されたのは、畜産排泄物による可能性が高い。これは、ため池は牛の水飲み場として利用されるため、頻繁に牛が訪れており、ため池の周りでは排泄物が目視確認されたためである。

B地域では、地下水がA地域よりやや高い値を示し、ため池の水はA地域と同様であった。

地下水を詳しく見てみると、地点及び時間による差が大きかった。例えば、近接した2地点の水質濃度に大きな違いがあったり（G6とG15）、同一地点で複数回の採水を行ったG1では、揚水によってCl、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Caの濃度が大きく変化したり、といったことが確認された。また、複数の地下水調査地点において、硝酸態窒素濃度が検出された。地下水の硝酸態窒素濃度の上昇は、過剰な放牧や施肥など人為的な現象である場合が多い。対象地区には、畑地や家畜が多く見受けられたため、この影響が懸念される。

ため池のイオン濃度はA地域と同様の値を示した。ただし、6箇所の調査ため池のうち、2箇所のため池で溶存態窒素が存在し（P4で $\text{NO}_3\text{-N}$ ：0.21 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、P13で $\text{NH}_4\text{-N}$ ：0.20 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ）、いずれのため池においても藻類の過剰な増殖により緑色を呈していた。

最下流部のC地域では、地下水・ため池・表層水のいずれもイオン濃度がかなり高かった。C地域は地下水の流出域であるため²⁾、岩塩層を通過した地下水が地表に湧出し、それとともに地表水に塩分を供給していると考えられる。ため池のCl濃度は、全調査地点の中でも最も高い値を観測した。ため池では、常に蒸発によって水が失われるため、濃縮によってさらに濃度が上昇する傾向にある。

3.2 長期の継続調査結果

水質分析結果のうち、分析項目のなかで最も大きく変動していたのはClであったため、その結果をFigs. 2～4に示す。

A地域では、地下水のCl濃度は12～41 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の間で、ため池では2～38 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の間で変動した。雨期に濃度が下がる傾向が一部見受けられた。Cl濃度は高くても40 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 程度であった。

B地域では、地下水のCl濃度は260～430 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の間で、ため池では3～80 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の間で変動した。G1における地下水のCl濃度は極めて高い。揚水前の井戸のたまり水では100 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ を下回る値となったこともあったが、全般的には200 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ を越えていた。ため池のCl濃度は、P10では雨期に濃度が低下する傾向が見受けられる一方で、P11とP13では値の変動が非常に少ない。B地域は、地下水の涵養域と流出域の中間に位置することから、場所によって地下水の流向が異なり、ため池のCl濃度は岩塩の影響を受けたり、受けなかったり、と差が生じているものと考えられる。

C地域のため池（P3）のCl濃度は、雨期の初期に600～1,600 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の間を変動し、いったん急激に濃度が低下して136 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ となり、その後は増加して乾期には600～1,000 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の値を示した。地下水の流出域だけに、ため池の貯留水は地下水の影響を強く受けていると考えられる。雨期

Fig. 2(a) Cl concentrations of groundwater in area A

Fig. 2(b) Cl concentrations in ponds in area A

Fig. 3(a) Cl concentrations of groundwater in area B

Fig. 3(b) Cl concentrations in ponds in area B

Fig. 4 Cl concentrations in a pond in area C

は変動幅が大きく、これは降水の影響により地下水の流れが大きく変化したためと考えられる。最も低い濃度を示したのは2006年10月9日であり、その前8日間に約120 mmの降水があったことから、Clが希釈されたのであろう。その後、乾期の間は、濃度が上昇する傾向がみられる。

雨期の終わりに低下したCl濃度が、乾期に微増するのは、他地域のため池の濃度変化の傾向と類似していた。

3.3 塩分・栄養塩濃度について

Cl濃度の調査結果について、農業用水として利用の観点から、既往の文献値を参考にしつつ、整理してみる。

Cl濃度に対するかんがい用水としての既往の基準値の低い順に並べると、水耕栽培：60 mg・l⁻¹¹⁴⁾、畑地へのスプリンクラーかんがい：107 mg・l⁻¹¹⁵⁾、畑地への地表かんがい：142 mg・l⁻¹¹⁵⁾、水稻：例えば900 mg・l⁻¹¹⁶⁾、となる。これらの結果から、60 mg・l⁻¹を下回れば、どのような用途にも利用可能であると考えられる。

A地域では常に40 mg・l⁻¹を下回っているため、農業用水として利用する際にはCl濃度が問題となることはない。B地域で地下水を利用する場合には、季節変動も考慮に入れてCl濃度を確認する必要があるが、ため池の水であれば問題が生じる可能性は低い。C地域では畑地かんがいへの利用は困難であり、利用目的は水稻用にほぼ限定されると言える。

また、畑地帯や畜産地帯では、過剰な肥料の流亡や、畜産排泄物の浸透によって、地下水の硝酸態窒素濃度が大きく上昇したり、周辺のため池等の栄養塩濃度が上昇したり、といった栄養塩濃度の上昇に伴う障害が知られている。例えば、畑作もしくは茶園地帯では飲料水の基準（NO₃-N、10 mg・l⁻¹）を上回る濃度が観測され¹⁷⁾、茶園周辺のため池の濃度が上昇したことが報告されている¹⁸⁾。また、畜産地帯において排泄物の処理が適切でない場合は発生負荷の35%が流出し、付近の河川水の窒素濃度が大きく上昇したことが報告されている¹⁹⁾。

対象流域では、A地域のほとんどが畑地に利用され、畜産の積極的な実施により家畜頭数が増加する傾向にあり、流域への排出負荷量は増加傾向にあると言える。

実際に、地下水の一部（G1とG2地点）で高い硝酸態窒素濃度が観測され、ため池の一部（P3、P6とP16）では富栄養状態に分類される栄養塩濃度を示し、藻類の過剰な増殖が目視で観察された。そこで、マクロ的に硝酸態窒素濃度の上昇について、検討してみる。

ノンセン村の農地面積は1,050 haであり、家畜の全頭数

が2,111頭である¹³⁾。仮に農地すべてに家畜が放牧されていると仮定すると、2.0頭/haとなる。比較事例として、地下水の保全のために畜産の飼養制限を実施しているEUの例を取りあげる。デンマークでは2.3頭（成牛）、オランダでは3頭（乳牛）、イギリスでは1頭の場合、補助金の交付（いずれも1 haあたり）、である。これらを参考にすると、1 haあたり3頭が持続的な地下水へ負荷を与えない上限の頭数と思われる。対象流域における現在の飼養頭数密度は、この上限値に近い。今後、畜産業の発展や農地への施肥量の増加により、地域への窒素排出量が増加すると、地下水の汚染につながる可能性があることに注意が必要であろう。

ため池で増殖している藻類は、水面を目視した限りではミクロキスティス（*Microcystis*）やアナベナ（*Anabaena*）の可能性が高い。対象流域は塩分濃度が高いものの、塩分濃度がミクロキスティスの増殖抑制につながっている可能性は低い。これは、実験室内での培養実験によると、ミクロキスティスは5,000 mg・l⁻¹以下の塩分濃度に対しては強い耐性を有しており²⁰⁾、対象流域での塩分濃度は高くても約3,000 mg・l⁻¹であったためである。

4. おわりに

東北タイのコンケン市の南方のノンセン村近傍を対象とした水質環境にかかる現地観測を実施した。2006年7月に空間的な水質濃度の変化を把握するための広域調査を実施し、以後11ヶ月にわたり定点における時間的な水質濃度の変化を把握することを目的とした継続調査を実施した。

対象流域を、地形条件を考慮して3地域に分割して調査結果を整理した結果、次のような知見が得られた。

- 1) 地下水の涵養域に相当するA地域では、地下水とため池ともにCl濃度が低く、農業用水として利用する際に問題になる可能性は低い。
- 2) A地域の下流側に位置するB地域では、地下水の一部で高いCl濃度が観測された。季節によってもCl濃度が変動していたことから、利用にあたっては注意が必要となる。
- 3) 地下水の流出域であるC地域では、全般的にCl濃度が高い。農業用水としての利用は、ほぼ水稻のみに限定される。
- 4) ため池と地下水の一部で、藻類の増殖に十分な栄養塩濃度が確認され、目視で藻類の過剰な増殖が確認された。
- 5) 流域では、家畜頭数が増加する傾向にあり、現在は環境に負荷を与えない上限値に近いことから、硝酸態窒素濃度の上昇が懸念される。

謝 辞

本研究の一部は、JIRCAS 天水農業プロジェクトより調査研究費の補助を受けました。調査の実施にあたり、コンケン大学、Land Developing Department (LDD) コンケンオフィス、JIRCASコンケンオフィス、そして農村工学研究所の関係者のみなさまに多大なご協力とご支援を頂きました。記して深く御礼を申し上げます。

（原稿受付 2007年9月7日）

（原稿受理 2007年10月19日）

参 考 文 献

- 1) Ogura, C. (2007) Development of Technology for Water Resource and Land Resource Management in Rain-fed Area, *JIRCAS*, **43**, 333-338.
- 2) 今泉眞之, ソムサック・スクチャン, 中里裕臣, 奥山武彦, 大西亮一, 竹内睦雄 (2003) 物理探査を使った水文地質構造調査, 農業土木学会論文集, **225**, 63-74.
- 3) 南勲, 藤井秀人, 木戸敏浩, 近森邦英, プラパンスベタナント, スチャリット・クンタナクンラウォン (1986) 東北タイ内陸塩害地域における試験溜池淡水池化の実証的研究, 農業土木学会論文集, **123**, 25-32.
- 4) 酒井一人, 後藤章, Sriboonlue, V. (1995) 東北タイにおける小川堰灌漑, 農業土木学会誌, **63**(4), 363-367.
- 5) Imaizumi, M., Sukchan, S., Wichaidit, P., Srisuk K. and Kaneko, F. (2002) Hydrological and geochemical behavior of saline groundwater in Phra Yun, Northeast Thailand, *JIRCAS working report*, **30**, 7-14.
- 6) 鈴木研二, 山本由紀代, 安藤益夫 (2005) 東北タイにおける小規模溜池の水文立地に関する評価, システム農学, **21**(1), 59-64.
- 7) 濱田浩正 (2005) 東北タイ Nong Saeng村の地下水調査, 水利科学, **49**(3), 11-21.
- 8) Sheddon, C. (2000) Scales of conflict and altered rivers: the case of Nam Phong basin, Northeast Thailand, *Proc. of 2000 AAG Annual Meeting*, 2000.
- 9) Fujii, S., Songprasert, P., Kitpati, S., Moritani, N., Mitobe, K., Tanaka, S., Takizawa, S., Kurokura, H., and Wrojanagud, W. (2005) Estimation of water and pollutant balances in the Phong watershed by water quantity survey and questionnaire investigation, *Proc. International symposium on southeast Asian water environment*, 54-61.
- 10) 森谷直子, 藤井滋穂, Songprasert P., 田中周平, 滝沢智, 黒倉寿, Wirojanagud W. (2006) 熱帯河川上流域における水質分布特性に関する検討, 環境衛生工学研究, **20**(2), 9-14.
- 11) 鈴木研二, 後藤章, 水谷正一 (2000) 東北タイ・コンケン県の2農村における天水田農業の変容, 農業土木学会誌, **68**(9), 39-42.
- 12) 小田正人 (2004) 東北タイにおける野菜の節水栽培, 熱帯農業, **48**別(2), 29-30.
- 13) Nongluck S., ANDO M., Preeda P. and Piensak P. (2006) Farmers' decision making on the use of farm ponds in Nong Saeng village, *JIRCAS Working Report*, **47**, 43-48.
- 14) 全農 (1990) ロックウール栽培の手引き, クミアイ農業資材協会, 216.
- 15) Ayers, R.S. and D.W. Westcot FAO (1994) Water quality for agriculture, 174p., FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1, FAO of the United Nations Rome.
- 16) 木村学而 (1965) 農業用水における水質限界濃度, 用水と廃水, **7**(10), 56-64.
- 17) 熊澤淳久雄 (1999) 地下水の硝酸態窒素汚染の現況, 土壤肥科学雑誌, **70**(2), 207-213.
- 18) 中曾根英雄, 山下泉, 黒田久雄, 加藤亮 (2000) 茶園地帯の過剰窒素施肥がため池の水質に及ぼす影響, 水環境学会誌, **23**(6), 374-377.
- 19) 志村もと子, 田淵俊雄 (1996) 養豚飼養頭数密度と河川水窒素濃度との関係, 農業土木学会論文集, **182**, 17-23.
- 20) Tonk L., Bosch K., Visser P.M. and Huisman J. (2007) Salt tolerance of the harmful cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*, *Aquatic Microbial Ecology*, **46**(2), 117-123.